

# Control of friction and inertia welding processes

**Patent number:** DE3413023  
**Publication date:** 1984-10-11  
**Inventor:** BENN BRYAN LESLIE (GB);  
 TOWLER BRIAN (GB)  
**Applicant:** ROLLS ROYCE (GB)  
**Classification:**  
 - international: B23K20/12  
 - european: B23K20/12C  
**Application number:** DE19843413023 19840406  
**Priority number(s):** GB19830009414 19830407

## Also published as:

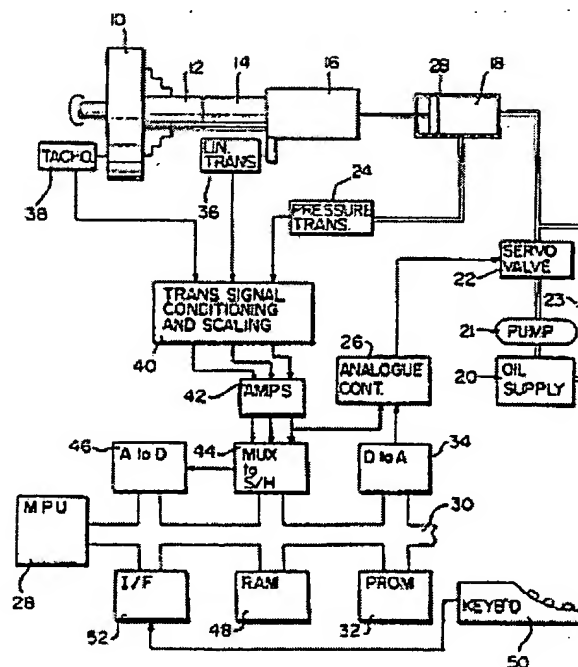
US4757932 (A1)  
 JP59197389 (A)  
 FR2543862 (A1)  
 IT1175972 (B)

Report a data error here

Abstract not available for DE3413023

Abstract of corresponding document: **US4757932**

Known methods of controlling inertia welding and friction welding processes fail to control metal upset, and so require post machining of the welded components. The invention pre-determines the ideal rates of relative rotation, force applied and metal upset rates for a given material to be welded, enters those rates in a microprocessor memory and then connects the microprocessor to the apparatus on which the weld is to be effected. The microprocessor monitors the actual rates, compares them with the ideal rates and, should differences occur, generates signals from those differences with which to adjust operation of the apparatus.



BEST AVAILABLE COPY

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 34 13 023 C 2

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
B 23 K 20/12

②1 Aktenzeichen: P 34 13 023.3-45  
②2 Anmeldetag: 6. 4. 84  
④3 Offenlegungstag: 11. 10. 84  
④5 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 28. 11. 91

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
07.04.83 GB 09414-83

⑦3 Patentinhaber:  
Rolls-Royce plc, London, GB

⑦4 Vertreter:  
Holzer, R., Dipl.-Ing.; Gallo, W., Dipl.-Ing. (FH),  
Pat.-Anwälte, 8900 Augsburg

⑦2 Erfinder:  
Benn, Bryan Leslie, Thornbury, Bristol, GB; Towler,  
Brian, Chipping Sodbury, Bristol, GB

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

GB 14 39 277  
GB 12 93 141  
GB 12 54 022

⑤4 Verfahren zur Regelung eines Schwungkraft- oder Reibungsschweißvorgangs

DE 34 13 023 C 2

DE 34 13 023 C 2

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Schwingkraft- oder Reibungsschweißvorgangs nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Das Schwingkraftschweißen ist ein bekanntes Verfahren zur Verbindung zweier metallener Bauteile und umfaßt das koaxiale Befestigen des einen Bauteils an einem Schwungrad, sodann das Hochfahren des Schwungrads auf eine gegebene Drehzahl, wodurch dem Schwungrad eine gegebene Rotationsenergie mitgeteilt wird, und anschließend nach dem Abkuppeln des Antriebs vom Schwungrad das axiale Anpressen des am Schwungrad befestigten, umlaufenden Bauteils an das andere feststehende Bauteil. Die im Schwungrad gespeicherte Rotationsenergie bewirkt eine weitere Drehung des am Schwungrad befestigten einen Bauteils, und die zwischen diesem umlaufenden Bauteil und dem feststehenden Bauteil auftretende Reibung erzeugt ausreichend Wärme, um in einer ersten Phase die Grenzflächenbereiche zwischen den beiden Bauteilen zu erweichen und in einer zweiten Phase im Zusammenwirken mit dem angewandten Preßdruck eine Preßverschweißung herbeizuführen.

Das Reibungsschweißen stellt ein weiteres bekanntes Schweißverfahren dar und unterscheidet sich vom Schwingkraftschweißen dadurch, daß die Drehung des umlaufenden Bauteils während des Schweißvorgangs nicht mittels gespeicherter Rotationsenergie eines Schwungrads, sondern mittels eines motorischen Drehantriebs kontinuierlich erfolgt, und daß die Drehung mittels einer Bremse anstatt durch Verbrauch der gespeicherten Energie angehalten wird.

Bei beiden eben beschriebenen Schweißverfahren wird Metall verdrängt bzw. gestaucht, was zu einer Verkürzung der axialen Gesamtlänge der beiden Bauteile führt. Der Gesamtbetrag, um welchen die Länge der beiden Bauteile verringert wird, kann als Stauchmaß bezeichnet werden. Zumindest beim Reibungsschweißen kann dieses Gesamtstauchmaß in ein anfängliches Reibungsstauchmaß (Längenverminderung während einer ersten Phase, wenn Wärme zur Erweichung der Grenzflächenbereiche erzeugt wird) und ein Preßstauchmaß (nachfolgende Längenverminderung, während der angewandte Preßdruck die beiden Bauteile zusammenpreßt) unterteilt werden. Gewöhnlich wird der angewandte Preßdruck nach dem Erreichen des Reibungsstauchmaßes erhöht, so daß der Schweißpreßdruck größer als der Reibungspreßdruck ist. Beim Schwingkraftschweißen lassen sich diese beiden Phasen des Schweißvorgangs allgemeinen weniger deutlich unterscheiden. Eine Erörterung dieses Sachverhalts findet sich in der britischen Norm BS 6223 aus dem Jahre 1982, die von der British Standards Institution herausgegeben ist.

Die GB-PS 12 54 022 beschreibt ein Beispiel einer Reibungsschweißvorrichtung, bei welcher die Drehzahl des Antriebsmotors gemäß einem vorprogrammierten Drehzahl-Zeit-Zusammenhang gesteuert wird. Durch derartige Maßnahmen läßt sich der Schweißvorgang im Sinne der Erzielung einer bestimmten Qualität der sich ergebenden Schweißnaht beherrschen. Jedoch ermöglichen derartige Maßnahmen keine Beeinflussung der Menge des verdrängten bzw. gestauchten Metalls und insbesondere keine Beherrschung des auftretenden Stauchmaßes. Beispielsweise kann beim Reibungsschweißen zweier typischer Bauteile mittels eines herkömmlichen Verfahrens eine Stauchmaßtoleranz von

$\pm 0,5$  mm auftreten.

Im Falle des Schwingkraftschweißens ist jedoch überhaupt keine Drehzahlsteuerung im Sinne der GB-PS 12 54 022 möglich, da eine genaue Steuerung der trägheitsbedingten Drehzahl des massiven Schwungrads unmöglich ist. Beim Schwingkraftschweißen zweier typischer Bauteile mittels eines herkömmlichen Verfahrens kann, da keine Steuerung der anfänglichen erweichungsbedingten Stauchlänge möglich ist, eine Toleranz des Stauchmaßes von  $\pm 1$  mm auftreten.

Infolge dieser großen Stauchmaßtoleranz müssen hinsichtlich ihres Fertigmaßes kritische Bauteile zunächst mit Übermaß hergestellt werden, und nach dem Schweißvorgang ist eine umfangreiche und teure Bearbeitung auf das vorgesehene Fertigmaß erforderlich. Außerdem kann in manchen Anwendungsfällen, beispielsweise beim gegenseitigen Verschweißen von Rotorscheiben von Gasturbinentriebwerken, eine nachfolgende genaue Bearbeitung auf Fertigmaß wegen der komplizierten Formen der Bauteile in der Praxis schwierig oder sogar unmöglich sein. Infolgedessen sind herkömmliche Schwingkraft- und Reibungsschweißverfahren für solche Anwendungsfälle nicht einsetzbar.

Die GB-PS 12 93 141 beschreibt ein Verfahren zur Beherrschung der Schweißqualität bei einem Reibungsschweißverfahren und stellt fest, daß das Maß des anfänglichen Erweichungsabriebs von größerer Bedeutung als die tatsächliche Erweichungsstauchlänge ist. Demgemäß schlägt diese Druckschrift eine Überwachung der Abriebgeschwindigkeit vor (der Längenänderungsgrad während der anfänglichen Erweichungsabriebphase steht in bezug zur Zeit). Die Abriebgeschwindigkeit wird mit einem voreingestellten Bezugswert verglichen und der axiale Schweißdruck wird so nachgestellt, daß die Abriebcharakteristik einer gewünschten geraden Kennlinie folgt.

Dieses Verfahren kann aus zwei Gründen keine Beherrschung des sich ergebenden Gesamtstauchmaßes ermöglichen. Erstens wird nur die Geschwindigkeit der Metallstauchung aus Gründen der Schweißqualität gesteuert. Damit erhält man keine direkte Beeinflussung des Stauchmaßes, und die genannte Druckschrift befaßt sich auch nicht mit der Beherrschung des Stauchmaßes. Zweitens erfolgt die Steuerung während der Abriebphase und es wird kein Vorschlag einer Steuerung während der Preßschweißphase gemacht, die einen wesentlichen Einfluß auf das Gesamtstauchmaß hat.

Ein weiteres Schwingkraftschweißverfahren ist in der GB-PS 14 39 277 beschrieben. Nach dieser Druckschrift werden zur Sicherstellung der Schweißnahtqualität der Preßdruck, die Drehzahl und die Stauchung während des Schweißvorgangs überwacht. Sollte der Preßdruck, die Drehzahl oder die Stauchung außerhalb vorgegebener Toleranzbereiche geraten, innerhalb welcher eine gute Schweißqualität mit Sicherheit angenommen werden kann, erfolgt eine Anzeige dieses Sachverhalts und der Schweißvorgang kann automatisch unterbrochen werden. Es erfolgt aber keine Regelung durch Rückführung der Schweißparameter. Ein solches Qualitätskontrollverfahren ist nur annehmbar, weil in der Praxis die vorgegebenen Toleranzbereiche, in welchen sich die Parameter bewegen können, während noch eine gute Schweißqualität erreicht wird, ziemlich groß sind. Wäre dies nicht der Fall, müßte ein großer Teil der geschweißten Bauteile als Ausschuß herausgenommen werden. Beispielsweise sind Bereiche von  $\pm 7\%$  zulässiger Abweichung der nominellen "idealen" Schweißparameter üblich.

Um die Schwingkraft- oder Reibungsschweißung auch in denjenigen Fällen anwenden zu können, in denen die erwähnten großen Toleranzbereiche nicht annehmbar sind, liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Gattung dahingehend auszubilden, daß eine Beherrschung des Gesamtstauchmaßes möglich ist.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe bei einem Verfahren nach dem Gattungsbegriff durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebenen Maßnahmen gelöst.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird also der augenblickliche Wert des Stauchmaßes der Bauteile zeitlich nacheinander an einer Mehrzahl vorgegebener Meßpunkte des Ablaufs des Schweißvorgangs bzw. des Fortschreitens der Schweißnahtbildung überwacht, und jeder erfaßte Stauchmaß-Istwert wird an dem betreffenden Meßpunkt mit einem vorgegebenen, für einen idealen Schweißvorgang geltenden Stauchmaß-Sollwert verglichen, und daraus wird ein Differenzsignal abgeleitet, aufgrund dessen eine entsprechende Änderung des zwischen den Bauteilen angewendeten Preßdruckes im Sinne einer Reduzierung des Differenzwertes erfolgt.

Vorzugsweise wird, wenn es sich bei dem Schweißverfahren um ein Schwingkraftschweißverfahren handelt, der angewendete Preßdruck in Abhängigkeit von Differenzsignalen gesteuert, die jeweils bei vorgegebenen Drehzahlwert-Meßpunkten stattfindenden Stauchmaß-Istwert-Sollwert-Vergleichen abgeleitet werden.

Handelt es sich bei dem Schweißverfahren um ein Reibungsschweißverfahren, wird der Preßdruck vorzugsweise in Abhängigkeit von Differenzsignalen gesteuert, die von zu vorgegebenen Zeit-Meßpunkten stattfindenden Stauchmaß-Istwert-Sollwert-Vergleichen abgeleitet werden.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachstehend unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen mehr im einzelnen beschrieben, in welchen zeigt:

Fig. 1 in schematischer Darstellung eine Einrichtung zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 2 eine graphische Darstellung der Relativdrehzahl der beiden Bauteile zueinander sowie des idealen Metallstauchungsverlaufs und des Preßdruckes über der Zeit für ein Schwingkraftschweißverfahren;

Fig. 3 ein Flußdiagramm eines Mikroprozessor-Programms zur Ausführung des durch Fig. 2 dargestellten Verfahrensablaufs, und

Fig. 4 eine graphische Darstellung ähnlich Fig. 2, jedoch für ein Reibungsschweißverfahren.

Gemäß Fig. 1 ist ein erstes, in Drehung zu versetztes Bauteil 12 in einer schwengradgetriebenen Spannvorrichtung 10 eingespannt. Ein zweites Bauteil 14 ist feststehend in einer Spannvorrichtung 16 eingespannt, die ihrerseits einen Teil einer hydraulischen Preßvorrichtung 18 bildet, die zur Axialverschiebung der Spannvorrichtung 16 und folglich des zweiten Bauteils 14 relativ zur umlaufenden Spannvorrichtung 10 bzw. zum ersten Bauteil 12 dient.

Die Preßvorrichtung 18 ist an ein Druckmittelsystem angeschlossen, das einen Ölbehälter 20, eine Pumpe 21 und ein Servoventil 22 umfaßt.

Ein Mikroprozessor 24 weist einen Speicher 25 und eine Steuerkonsole 27 auf. Er ist an das Servoventil 22 angeschlossen, um den Öldruck in der Preßvorrichtung 18 zu steuern. Außerdem ist der Mikroprozessor 24 mit einem Druckwandler 26 verbunden, von welchem er den Öldruck im Zylinder 28 der Preßvorrichtung 18 dar-

stellende Signale erhält. Ein Linearwandler 30, der Geschwindigkeit und Größe der relativen Axialbewegung zwischen den beiden Bauteilen 12 und 14 angibt, und ein Tachometer 32, der die Drehzahl der umlaufenden Spannvorrichtung 10 und folglich die relative Drehzahl zwischen den Bauteilen 12 und 14 angibt, sind ebenfalls an den Mikroprozessor 24 angeschlossen.

Nunmehr wird auf Fig. 2 Bezug genommen. Bevor der Schweißbetrieb der Vorrichtung zum Verschweißen zweier gegebener Bauteile im Produktionseinsatz aufgenommen wird, werden die Idealwerte der Metallstauchung während des gesamten Schweißvorgangs zusammen mit den zugehörigen Idealwerten der Relativdrehzahl zwischen den beiden Bauteilen 12 und 14 (Fig. 1) bei einem gegebenen, über die Preßvorrichtung 18 (Fig. 1) auf die beiden Bauteile ausgeübten Nennpreßdruck bestimmt. Dies erfolgt in an sich bekannter Weise mit Hilfe von Testschweißungen an Testbauteilen gleicher Form und Größe und aus gleichem Werkstoff wie für die Produktion vorgesehenen Bauteile.

Die idealen Stauchmaßwerte sind durch die Vollinie 34 dargestellt, und die ideale Abfallgeschwindigkeit der Relativdrehzahl ist durch die Vollinie 36 dargestellt. Die so erhaltenen Daten werden im Mikroprozessorspeicher 25 in Form einer Wertetabelle der Relativdrehzahl und einer Wertetabelle der entsprechenden idealen Stauchmaßwerte eingespeichert. Der angewendete Nenndruck ist durch die Vollinie 38 dargestellt und ist durch obere und untere Grenzwertlinien 40 und 42 begrenzt, die beispielsweise  $\pm 10\%$  des Nennwerts 38 darstellen können. Diese oberen und unteren Grenzwerte werden ebenfalls in den Speicher 25 eingespeichert.

Beim Beginn des Arbeitsvorgangs sind die beiden Bauteile 12 und 14 axial voneinander getrennt und das Bauteil 12 wird über das motorgetriebene, nicht dargestellte Schwungrad auf eine vorgegebene Idealdrehzahl beschleunigt. Diese Drehzahl entspricht dem Punkt R in Fig. 2. An diesem Punkt wird der motorische Antrieb vom Schwungrad abgekuppelt, so daß das Schwungrad, die umlaufende Spannvorrichtung 10 und das Bauteil 12 frei weiter umlaufen. Gleichzeitig werden die Bauteile 12 und 14 durch Betätigung der Preßvorrichtung 18 axial zueinander hinbewegt. Der dabei aufgewendete Preßdruck entspricht dem Nenndruck, der durch den Punkt P angedeutet ist.

Das Zusammentreffen der beiden Bauteile 12 und 14 (Fig. 1) unter den eben beschriebenen Bedingungen erzeugt Reibung, verringert die Drehzahl des umlaufenden Bauteils 12 und bewirkt eine Erweichung der beiden Bauteile in ihren Grenzflächenbereichen. Infolgedessen wird das feststehende Bauteil 14 unter dem angewendeten Preßdruck weiter zum umlaufenden Bauteil 12 hinbewegt, wobei diese Bewegung mittels des Linearwandlers 30 gemessen und in Form eines Meßwertsignals an den Mikroprozessor 24 übermittelt wird. Dort werden diese Bewegungsdaten mit dem jeweils entsprechenden Idealwert auf der Linie 34 der Fig. 2 verglichen, der im Speicher 25 gespeichert ist.

Der Mikroprozessor 24 überwacht den angewandten Preßdruck über den Druckwandler 26 und beeinflusst in Abhängigkeit davon das Servoventil 22 derart, daß ein entsprechender Ölspeisedruck zur Preßvorrichtung 18 sichergestellt wird. Wenn jedoch der tatsächliche Wert der Metallstauchung sich relativ zu den durch die Linie 34 verkörperten Idealwerten verschiebt, beispielsweise im Sinne einer größeren Stauchung nach der gestrichelten Linie 44, wird diese Abweichung sofort von dem Mikroprozessor 24 erfaßt, der das vom Linearwandler

30 kommende Signal mit dem zugehörigen Idealwert im Speicher 25 vergleicht.

Der Anstieg des Istwertes der Metallstauchung bei den zugeordneten bestimmten Drehzahlwerten erzeugt über dem Mikroprozessor 24 Änderungen des zum Servoventil 22 übermittelten Signals, welches den Öldruck entsprechend nachstellt und folglich den über die Preßvorrichtung 18 ausgeübten Preßdruck beeinflusst. Bei dem beschriebenen Ausführungsbeispiel ist ersichtlich, daß, wenn die Drehzahl auf den Punkt R1 auf der Linie 36 abgefallen ist und der Istwert der Metallstauchung den Punkt U1 der Linie 44 erreicht, dieser Istwert oberhalb des vorgegebenen, durch die Linie 34 dargestellten Sollwerts der Metallstauchung liegt.

Der Mikroprozessor 24 vergleicht den Istwert auf der gestrichelten Linie 44 mit dem entsprechenden Sollwert auf der Linie 34 und betätigt das Servoventil 22 im Sinne einer Verringerung des Preßdruckes vom Punkt P1 in Form vorgegebener diskreter Schritte. Wenn die Drehzahl auf den Punkt R2 auf der Linie 36 abgefallen ist, liegt der Istwert U2 der Metallstauchung wieder, wie dargestellt, auf der Linie 34, und der Preßdruck ist auf den Wert P2 abgesunken. Der Mikroprozessor 24 steuert dann das Servoventil 22 so, daß es den Preßdruck auf dem Wert P2 hält.

Ist die Drehzahl auf den Punkt R3 auf der Linie 36 weiter abgefallen, ist beim dargestellten Beispiel der Istwert der Metallstauchung auf den Punkt U3 auf der gestrichelten Linie 48 unterhalb des vorgegebenen Sollwertes gemäß der Linie 34 abgewichen. Der Mikroprozessor 24 vergleicht wiederum diesen Istwert U3 auf der Linie 48 mit dem Sollwert auf der Linie 34 und betätigt das Servoventil 22 im Sinne einer Erhöhung des Preßdruckes vom Punkt P3 aus, und zwar wiederum in vorgegebenen diskreten Schritten. Wenn bei der Drehzahl R4 der Istwert U4 der Metallstauchung wieder mit dem Sollwert zusammenfällt, also wieder auf der Linie 34 liegt, und der Preßdruck auf den Wert P4 erhöht worden ist, steuert der Mikroprozessor 24 das Servoventil 22 so, daß es den Preßdruck auf dem Wert P4 hält.

Jedoch sollte der angewendete Preßdruck niemals so weit verändert werden, daß er über oder unter die durch die Linie 40 und 42 vorgegebenen oberen und unteren Toleranzwerte steigt oder fällt.

Fig. 3 zeigt ein vereinfachtes Flußdiagramm des von dem Mikroprozessor ausgeführten Programms zur Erfüllung der oben erläuterten Funktionen.

In der ersten Programmstufe 70 schaltet der Mikroprozessor sich ein und wartet auf den Beginn eines Schweißzyklus. An dieser Stelle werden Zeiger zu den Wertetabellen für Drehzahl und Stauchmaß in Betrieb gesetzt. Wenn ein Schweißzyklus beginnt, werden diese Tabellenzeiger (Programmstufe 72) durch Vorwärts-Weiterschalten so verschoben, daß sie auf die ersten Werte in den Tabellen zeigen, und sodann erfolgt die Auslösung des Tachometers 32 (Programmstufe 74). In der Programmverzweigungsstufe 76 prüft der Mikroprozessor, ob die Drehzahl auf den entsprechenden Wert in der Tabelle abgefallen ist. Ist dies nicht der Fall, springt das Programm zurück, bis dieser Test positiv ausfällt. Sodann wird der erreichte Stauchungswert aus dem Linearwandler 30 in der Programmstufe 78 gelesen.

Der Preßdruck soll nur während des tatsächlichen Schweißvorgangs gesteuert werden. Vor und nach diesem Regelbereich des Schweißvorgangs kann der Mikroprozessor jedoch aufgrund einfacher Programmierung die verschiedenen Parameter überwachen und aufzeichnen, wobei die hierfür erforderlichen Programm-

stufen in Fig. 3 nicht dargestellt sind. In der nächsten Programmverzweigungsstufe 80 prüft der Mikroprozessor demzufolge, ob der erfaßte Augenblick des Schweißvorgangs in diesem Regelbereich liegt, und falls dies nicht der Fall ist, springt das Programm zurück.

Liegt der erfaßte Ablaufaugenblick im Regelbereich, wird der in der Programmstufe 78 gelesene Istwert der Stauchung in der Programmstufe 82 mit dem an der betreffenden Tabellenstelle gespeicherten Stauchungssollwert verglichen. Dieser Sollwert der Stauchung ist derjenige Wert, der in einem idealen Schweißvorgang bei dem augenblicklichen Drehzahlwert erreicht werden sollte, wie in Fig. 2 angegeben ist. Sollte der festgestellte Stauchungswert höher als der Sollwert sein, was in der Verzweigungsstufe 84 festgestellt wird, und falls der gemessene Preßdruck oberhalb der unteren Grenzwertlinie 42 liegt, was in der Verzweigungsstufe 86 geprüft wird, wird das Servoventil 22 im Sinne einer Verringerung des Preßdruckes der Preßvorrichtung 18 um einen vorgegebenen Schritt angesteuert (Programmstufe 88). In entsprechender Weise wird der Preßdruck um einen vorgegebenen Schritt erhöht (Programmstufe 94), falls der Istwert der Stauchung niedriger als der Sollwert ist (Verzweigungsstufe 90) und der Preßdruck unterhalb der oberen Grenzwertlinie 40 liegt. In jedem Fall springt das Programm zur Programmstufe 72 zurück, an welcher die Tabellenzeiger weiterverschoben werden, und das Programm wartet dann, bis die Drehzahl auf den nächsten Überwachungspunkt abgefallen ist, der dem nächsten, nun vom Tabellenzeiger angezeigten Wert in der Drehzahltable entspricht.

Die Durchführung einer präzisen Regelung in der eben beschriebenen Weise, während die Metallstauchung stattfindet, stellt sicher, daß die ideale Metallmenge verdrängt wird. Die gewünschte Gesamtfertiglänge der miteinander verschweißten Bauteile 12 und 14 ist auf diese Weise sehr genau vorhersagbar und erreichbar. Damit kann eine nachfolgende Bearbeitung auf Fertigmaß vollständig entfallen oder zumindest auf ein Minimum reduziert werden. In der Praxis hat es sich als möglich erwiesen, das Gesamtstauchmaß innerhalb eines Toleranzbereiches von  $\pm 125 \mu\text{m}$  zu regeln. Diese Toleranz ist mehr durch die verwendete Vorrichtung verursacht und stellt weniger einen Parameter des jeweiligen Schweißvorgangs oder der jeweiligen Bauteile dar und ist relativ unabhängig vom tatsächlichen Wert des Gesamtstauchmaßes. Bei Testschweißungen von Flußstahlzylindern mit einem Durchmesser von 51 mm wurde diese Toleranz bei einem Gesamtstauchmaß von 4,75 mm wiederholt erreicht, was in diesem Fall einer Toleranz von etwa 2,7% entspricht. Dieser Wert ist bei weitem besser als die Toleranzwerte herkömmlicher Verfahren.

Nunmehr wird auf die Fig. 4 Bezug genommen. In der graphischen Darstellung sind auf der vertikalen X-Achse die Werte der Relativedrehzahl zwischen den beiden Bauteilen 12 und 14 (Fig. 1), der angewandte Preßdruck und die Größe der Metallstauchung aufgetragen. Auf der horizontalen Y-Achse sind die Idealzeiten aufgetragen. Die Kurven in Fig. 4 zeigen also die über der Zeit aufgetragenen Drehzahl-, Preßdruck- und Stauchungswerte, die über der jeweiligen Zeit erreicht werden sollten. Diese graphische Darstellung gilt für einen Reibungsschweißvorgang, d.h. für ein Reibungsschweißverfahren, bei welchem die Relativedrehung zwischen den beiden Bauteilen durch kontinuierlichen Antrieb eines der beiden Bauteile erreicht wird.

Die Linie 62 zeigt die ideale Relativdrehzahl zwischen den Bauteilen 12 und 14. Die Linie 64 zeigt den Sollpreßdruck, dessen Anwendung am Punkt F beginnt, wo sich die Solldrehzahl stabilisiert hat.

Die Linie 66 zeigt die Größe der Metallstauchung, die über einer gegebenen Zeitperiode erreicht werden soll, die durch die Linie 68 dargestellt ist, welche mit der Y-Achse zusammenfällt.

Die Sollwerte für jede Funktion werden wiederum in den Speicher eines Mikroprozessors der im Zusammenhang mit Fig. 1 beschriebenen Art eingespeichert. Eine Preßvorrichtung 18 der in Fig. 1 beschriebenen Art ist ebenso wie ein Linearwandler 30, ein Druckwandler 26 und ein Tachometer 32 wiederum vorhanden.

Bei dem vorliegenden Beispiel wird die Drehzahl durch einen nicht dargestellten motorischen Antrieb herbeigeführt und aufrechterhalten und folglich nicht durch die Vorgänge im Grenzflächenbereich zwischen den beiden Bauteilen beeinflusst. Wenn jedoch der Wert der Metallstauchung sich gegenüber dem durch die Linie 66 in Fig. 3 dargestellten Sollwert verändert, d. h. wenn der für einen gegebenen, durch die Linie 68 dargestellten Zeitpunkt vorgegebene Stauchmaßsollwert nicht erreicht oder überschritten werden sollte, was durch Vergleich der entsprechenden Signale im Mikroprozessor festgestellt wird, übermittelt der Mikroprozessor 24 ein entsprechendes Korrektursignal zum Servoventil 22 zur entsprechenden Verstellung der Preßvorrichtung 18.

Wenn also ein Maß A, das die gewünschte zu verdrängende Metallmenge darstellt, bei einer Drehzahl erreicht wird, die anzeigt, daß diese Metallverdrängung vor dem Zeitpunkt T erreicht wird, wird aufgrund der Instruktion vom Mikroprozessor 24 (Fig. 1) der Preßdruck verringert. In entsprechender Weise wird, wenn ein die gewünschte Metallstauchung während der Verbindungsendphase des Schweißvorgangs darstellendes Maß B zu einer Zeit erreicht wird, die von dem Zeitpunkt T1 abweicht, der angewandte Preßdruck durch vom Mikroprozessor 24 (Fig. 1) erzeugte Signale entsprechend korrigiert. Der Mikroprozessor stellt also sicher, daß die Gesamtgröße des Metallstauchmaßes auf das angedeutete Maß C begrenzt wird, und wenn dies erreicht ist, wird ein Signal erzeugt, welches einen Preßdruck noch während einer Zeitspanne T2 aufrechterhält, bevor die Einrichtung ausgeschaltet wird.

Während die in Fig. 1 dargestellte Einrichtung die Ist- und Sollwerte des Stauchmaßes beim vorgegebenen Drehzahlwerten vergleicht, erfolgt ein solcher Vergleich bei der letztbeschriebenen Einrichtung zu vorgegebenen Zeitpunkten. Das Programm zur Ausführung dieser Funktionen kann grundsätzlich ähnlich demjenigen nach Fig. 3 sein, mit der Ausnahme, daß anstelle des Abwartens eines Drehzahlabfalls jeweils bis auf den nächsten Tabellenwert ein Abfragen des Iststauchmaßes bei den entsprechenden vorgegebenen Zeitpunkten während des Schweißvorgangs und ein entsprechender Sollwert-Istwert-Vergleich durch das Programm erfolgt.

Anstelle eines Mikroprozessors kann selbstverständlich auch jede andere Form einer Datenverarbeitungseinrichtung Anwendung finden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines Schwingkraft- oder Reibungsschweißvorgangs zur Verbindung zweier Bauteile durch gegenseitige Relativdrehung

unter gleichzeitigem axialen Zusammenpressen, wobei ein Stauchungsparameter die bei dem Schweißvorgang auftretende Stauchung der beiden Bauteile erfaßt und mit einem vorgegebenen Sollwert dieses Parameters vergleicht und daraus ein Differenzsignal abgeleitet wird, das zur Beeinflussung des zwischen den beiden Bauteilen angewendeten Preßdruckes im Sinne einer Verringerung der Istwert-Sollwert-Stauchungsdifferenz verwendet wird, dadurch gekennzeichnet, daß der erfaßte Stauchungsparameter der jeweils augenblickliche Stauchmaßwert ist, der während des Schweißvorgangs nacheinander an einer Mehrzahl vorgegebener Meßpunkte des Schweißvorgangs erfaßt wird, und daß jeder erfaßte Parameter-Istwert mit einem vorgegebenen, dem betreffenden Meßpunkt zugeordneten Stauchmaß-Sollwert verglichen wird.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1 zur Anwendung bei einem Schwingkraftschweißverfahren, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßpunkte, an denen jeweils ein erfaßter Stauchmaß-Istwert mit einem vorgegebenen Stauchmaß-Sollwert verglichen wird, vorgegebene Relativdrehzahlwerte zwischen den beiden Bauteilen sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1 zur Anwendung bei einem Reibungsschweißverfahren mit kontinuierlichem Drehantrieb des einen Bauteils, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßpunkte, an denen jeweils ein erfaßter Stauchmaß-Istwert mit einem vorgegebenen Stauchmaß-Sollwert verglichen wird, vorgegebene Zeitpunkte sind.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß außerdem der zwischen den beiden Bauteilen angewandte Preßdruck erfaßt wird und daß mit dem genannten Differenzsignal jeweils nur dann eine Steigerung des Preßdruckes herbeigeführt wird, wenn der augenblickliche Preßdruck unterhalb eines vorgegebenen oberen Grenzwertes liegt, und nur dann eine Verringerung des Preßdruckes herbeigeführt wird, wenn der augenblickliche Druck oberhalb eines vorgegebenen unteren Grenzwertes liegt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die vorgegebenen Stauchmaß-Sollwerte und Meßpunkte in einem Speicher einer Datenverarbeitungseinrichtung eingespeichert werden, mit welcher letzterer unter Steuerung durch ein entsprechendes Programm das Erfassen der Istwerte, der Sollwert-Istwert-Vergleich und die Ableitung des Differenzsignals bewirkt wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —

---



Fig. 1.

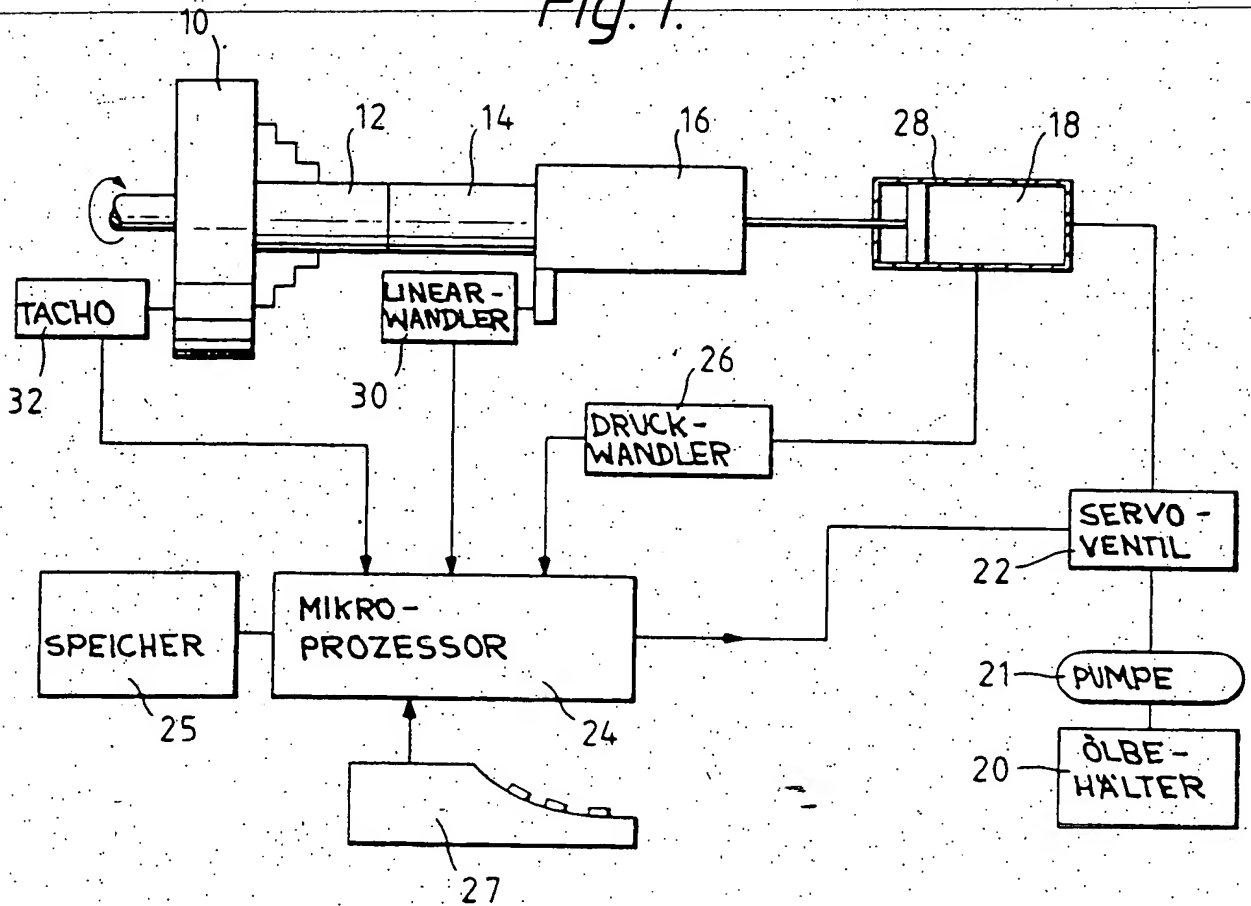
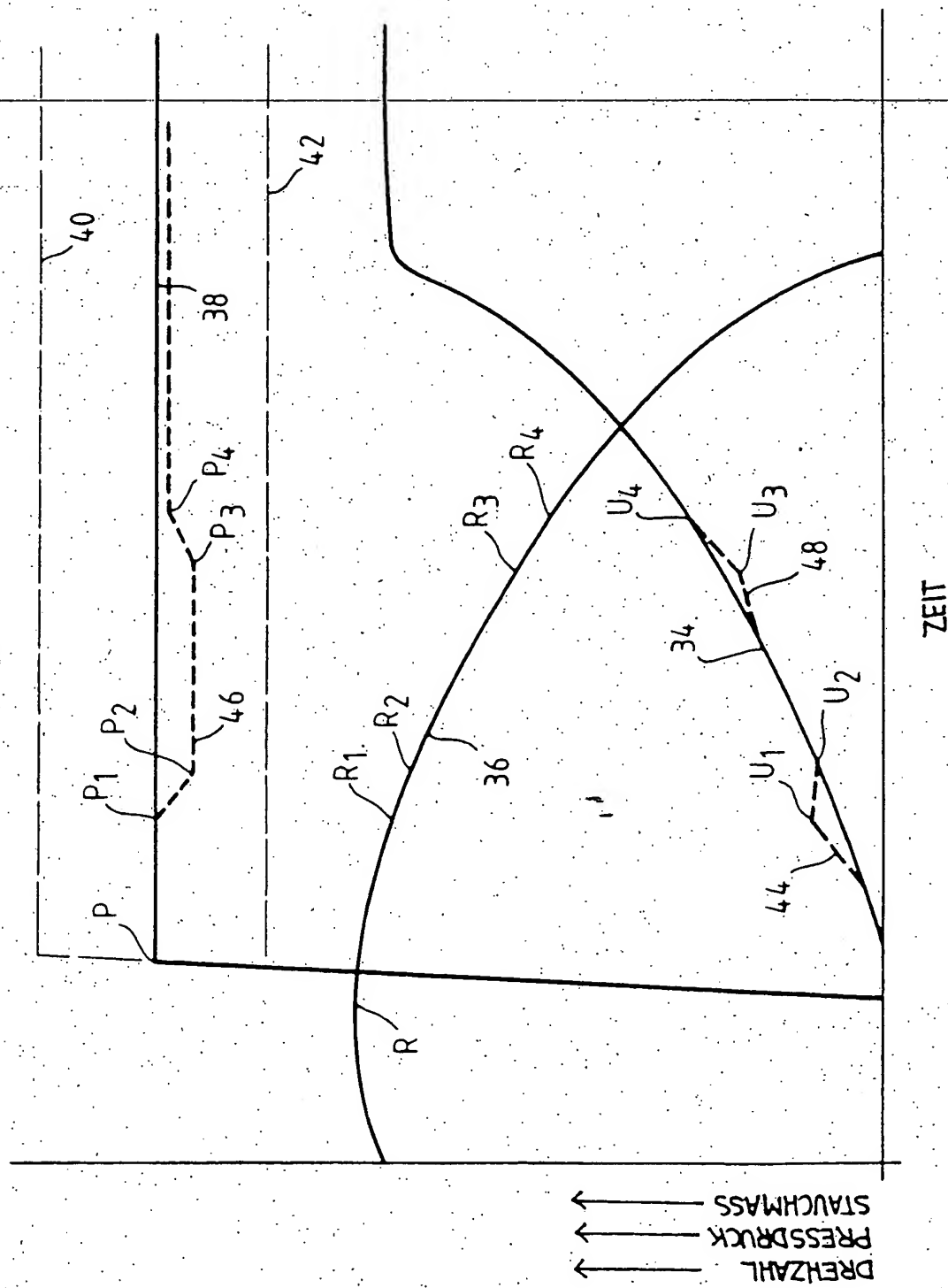


Fig. 2.



DREHZAHL  
PRESSDRUCK  
STAUCHMASS

Fig. 3.

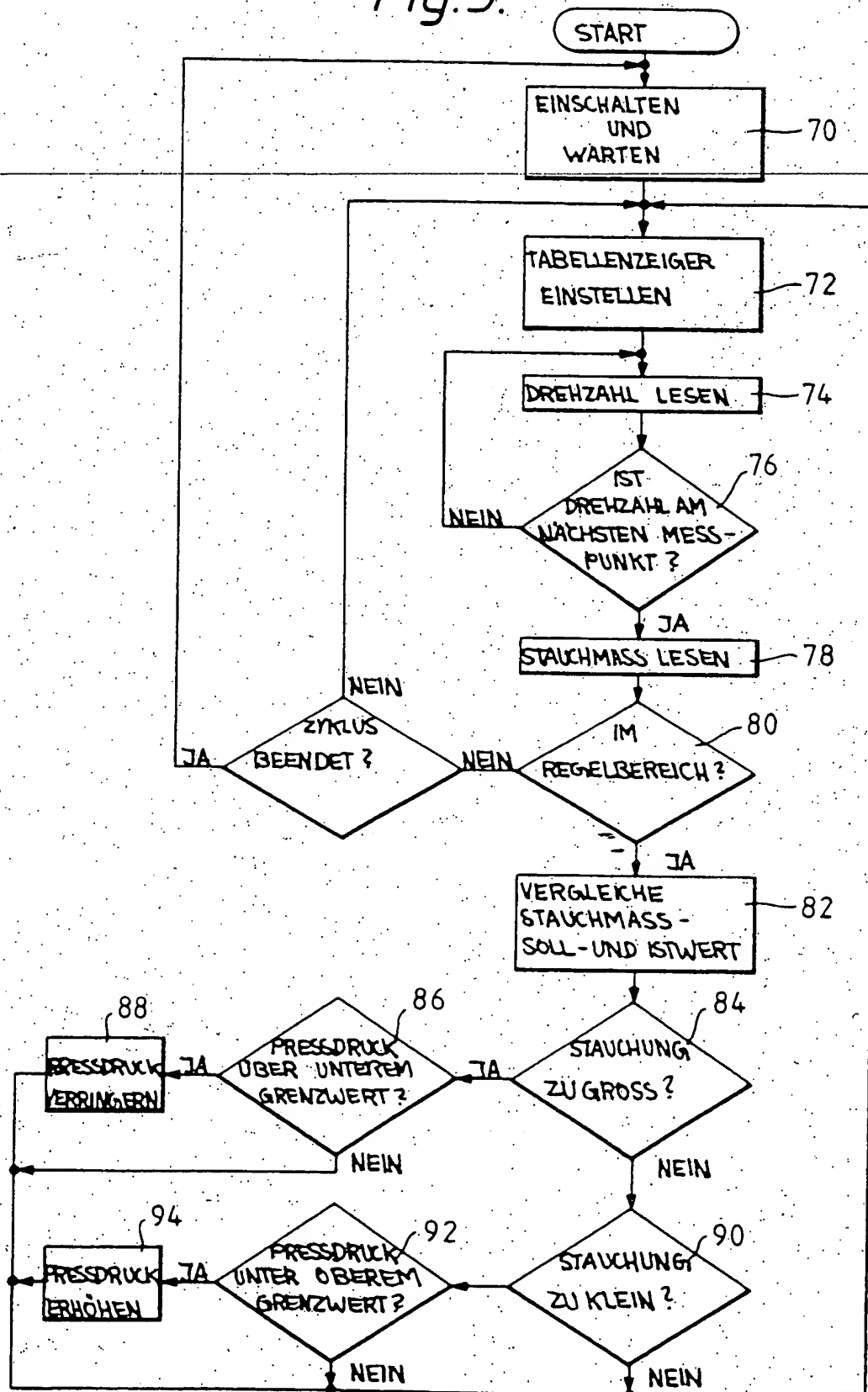
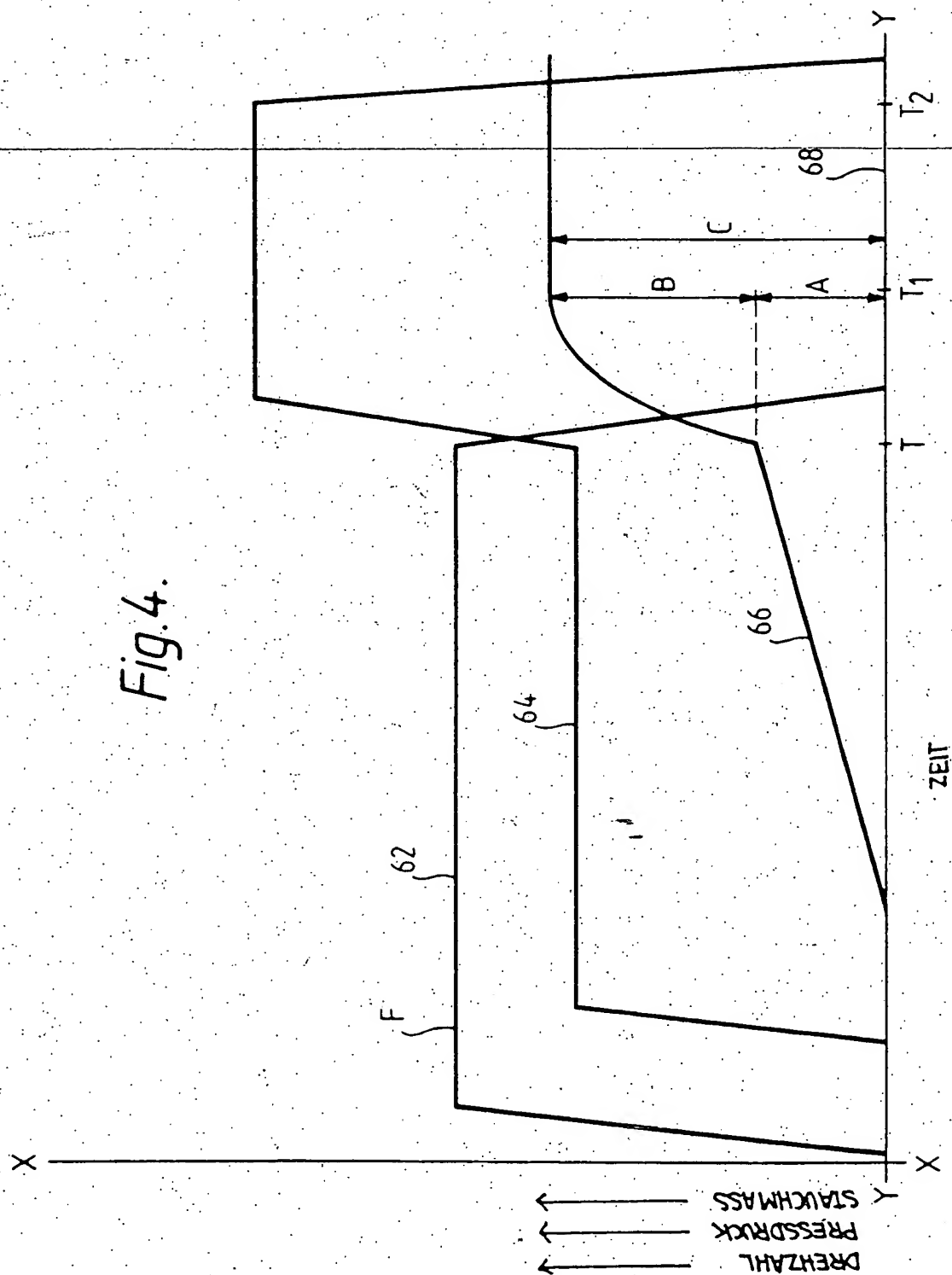


Fig. 4.



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**